

# 一种瓦片式 T/R 的关键工艺分析

廖雯,毛繁,但雪梅,何玮洁,刘明强

(中国电子科技集团公司第二十六研究所,重庆 400060)

**摘要:**该文介绍了一种 Ku 波段瓦片式发射/接收(T/R)组件的工艺设计技术。组件整体采用了低温共烧陶瓷(LTCC)高频基板、低频电源印制电路板(PCB)和控制 PCB 板,利用立体组装的方式实现产品的小型化。产品采用金锡焊接 SMP 接头实现气密性焊接,同时采用 4 种焊接材料实现了产品的温度梯度焊接,并对关键工艺进行了工艺鉴定分析,保证了产品的长期可靠性。

**关键词:**发射/接收(T/R)组件;小型化;可靠性

**中图分类号:** TN384

**文献标识码:** A

**DOI:**10.11977/j.issn.1004-2474.2018.03.004

## Key Process Analysis of a Tile-type T/R Module

LIAO Wen, MAO Fan, DAN Xuemei, HE Weijie, LIU Mingqiang

(The 26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

**Abstract:** The process design technique of a Ku-band tile-type T/R module is described in this paper. The whole module adopts the LTCC high-frequency board, low-frequency power PCB board and control PCB board, and uses the three-dimensional assembly method to achieve product miniaturization. The product adopts gold-tin soldered SMP joints to achieve hermetic welding. At the same time, four kinds of welding materials are used to achieve the temperature gradient welding of the products. And the process identification of key processes is carried out to ensure the long-term reliability of the product.

**Key words:** T/R module; miniaturization; reliability

## 0 引言

按组装方式进行划分,二维有源相控阵天线发射/接收(T/R)组件可分为“砖块式”和“瓦片式”两种结构<sup>[1]</sup>。“砖块式”结构 T/R 组件是将多个 T/R 组件射频通道并排组合集成,每个 T/R 通道内信号传输为平面内互联,电路连续性好,高频性能优良,连接可靠,各个通道仍保持与单个 T/R 组件相似的电路布局,电路设计较简单;但其子阵集成度低、纵向尺寸大,不利于共形;散热路径长,难以实现大型阵列应用并保证 T/R 组件长期可靠工作。“瓦片式”T/R 组件<sup>[2-3]</sup>在低温共烧陶瓷(LTCC)等多层微带基板的基础上,综合利用微电子技术和单片微波集成电路(MMIC),经微电子互连而成。其结构为多层结构,信号传输采用层间垂直互联,可以实现二维面阵 T/R 组件集成和封装,利于自动化组装,MMIC 芯片下面可设置厚度不受限制

的完整热沉,有利于高效散热,因此集成密度较高。

随着自动化微组装工艺技术的普及,“瓦片式”T/R 组件因其集成度更高、芯片布局更规则,可一次性完成子阵模块所有芯片的自动化装配,其生产效率将大幅提升。同时,“瓦片式”T/R 组件的低廓线结构特点,便于天线实现共形设计,特别适用于共形有源相控阵领域。

## 1 “瓦片式”T/R 组件的工艺设计

本文提出的 T/R 组件结构及内部组成如图 1 所示。T/R 组件内部采用多种材料,组件装配工艺复杂,为实现芯片、连接器、LTCC 基板及腔体间互连,工艺上设计采用 3 种不同的焊料和 1 种粘接材料进行多种板材及元件的烧结、组装,主要使用的焊接材料及粘接材料如下:

1) 金锡焊料 Au80Sn20 熔点 280 °C,主要用于

收稿日期:2018-01-17

基金项目:国家重点项目

作者简介:廖雯(1987-),女,四川人,工程师,硕士,主要从事微组装工艺设计。

芯片焊接至芯片载板及 SMP 接头焊接至底座。

2) 锡铅焊料 Sn63Pb37 熔点 183 °C, 主要用于 LTCC 转接板、LTCC 板上 SMP 接头、普通印制电路板(PCB)、表贴元器件、其他连接器的焊接。

3) 铅锡焊料 In75Pb25 熔点 156 °C, 主要用于 LTCC 基板和芯片载板焊接至壳体。

4) 导电胶 H20E 固化温度 120 °C, 用于裸芯片的粘接。

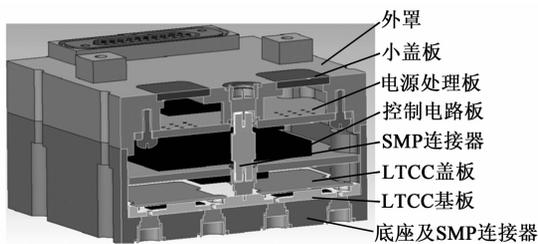


图1 T/R 组件内部示意图

## 2 “瓦片式”T/R 的关键工艺分析

### 2.1 金铝键合工艺鉴定

多功能芯片为铝焊盘的 SiGe 芯片, 收发芯片为金焊盘的 GaAs 芯片, 由于空间限制, 多功能芯片和收发芯片采用直接级联的方式必然会发生金-铝键合。在封装中, 芯片端必须用到金-铝键合时, 根据 QJA20085—2012 宇航用混合集成通用规范 3.6.2i 要求: “如果必须在芯片用到不同金属材料的键合工艺, 必须通过专门的工艺鉴定, 工艺鉴定试验应至少包括高温贮存、扫描电子显微镜(SEM)检查和引线键合强度。高温贮存试验样品应为密封合格样品, 试验条件为 300 °C、24 h; SEM 检查主要观察开帽后键合点形貌, 要求金-铝扩散区域不得波及有源区; 高温贮存后引线键合强度应满足标准要求”。本项目设计中, 金-铝键合发生在 SiGe 多功能芯片焊盘端, 因此选取 SiGe 多功能芯片产品, 使用  $\varnothing 25 \mu\text{m}$  金丝球焊键合, 选取 3 组键合工艺参数各键合 3 只, 共 9 只。每组参数抽取 1 只进行拉力强度测试, 多功能芯片烘烤前的键合焊点图如图 2 所示, 每组

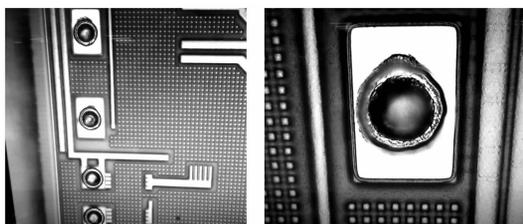


图2 多功能芯片键合焊点图

另外 2 只进行 300 °C、24 h 烘烤后进行引线拉力强度测试。

测试后进行外观检查, 各个参数进行拉力强度后焊点外观如图 3 所示。



图3 键合 300 °C, 烘烤 24 h 后的多功能芯片键合焊点图

烘烤前, 3 组键合参数均满足国军标拉力测试值要求; 烘烤后, 测试拉力值仅有参数 3 能够 100% 满足国军标要求, 实际产品制作中将选用参数 3 进行键合。拉力测试完成后, 对键合芯片进行弹坑试验, 键合参数对芯片焊盘底部电路无影响。

### 2.2 T/R 组件内部非金属原材料的内部气氛试验

将 T/R 组件内部使用的非金属原材料: GD414, “乐泰”243, 高温导线 AFR, 导电胶 H20E, 漆包线, 绝缘胶 360T, 4350 复合板, FR4 多层板, 5880 基板, 4350 基板分别和组合的共 11 种样品置放到模块内, 采用 135 °C、14 h 烘烤, 储能焊密封检漏通过后, 经过如表 1 所示的环境筛选试验后寄广州五所利用内部气氛仪 IVA-210S 进行内部气氛试验, 按照 GJB548B—2005 方法要求内部水汽含量占总体积的体积分数  $\leq 5\ 000 \times 10^{-6}$ , 样品全部通过。同时, 样品内部氧气含量、二氧化碳含量、氩气含量、氢气含量均满足规定要求 (测试报告编号 DPA173773)。

表 1 内部气氛试验环境筛选试验条件

序号	试验项目	试验条件
1	温度冲击	-40~+75 ℃,循环次数:12.5 次
2	温度循环	-25~+60 ℃,循环次数:10 次
3	高温存储	+85 ℃,4 次,高温保持,时间不低于 12 h
4	低温存储	-65 ℃,4 次,低温保持,时间不低于 12 h
5	热循环	-35~+70 ℃,循环次数 25.5 次

2.3 多芯片一体共晶焊接工艺

T/R 组件中收发芯片和多功能芯片采用共晶焊的方式烧结在钼铜载板上。多芯片一体共晶的关键是共晶夹具的制作,如图 4 所示。采用石墨夹具下模块固定镀金钼铜块、定制的金锡焊料片和芯片,上模块夹具对芯片四周非电路区域均匀加压,然后将安装好的产品放置在共晶炉中,用优化好的工艺曲线进行烧结。所用的原材料有: Au80Sn20 焊料片、助焊剂。烧结过程保温温度 250 ℃,时间 2 min,共晶烧结温度 330 ℃,时间 45 s。共晶炉型号: SST3130。图 5 为多芯片一体共晶后的样品。

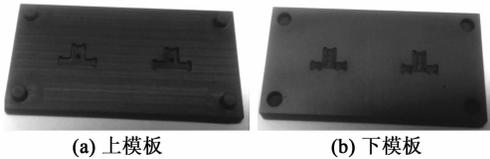


图 4 一体共晶的石墨夹具模块

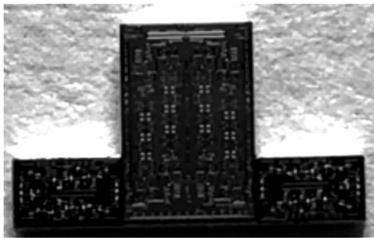


图 5 多芯片一体共晶后的样品

2.4 SMP 接头的气密封焊接

本设计的 SMP 接头采用 Au80n20 共晶焊料环(熔点 280 ℃)实现气密焊接,为保证绝对的气密,壳体内 SMP 的安装槽内使用上、下两个环焊接。工艺流程为:放置焊料环 4—放置 SMP—放置焊料环 3—安装定位夹具。定位夹具采用固定杆对每个 SMP 单独施压,以保证 SMP 烧结后上沿与上表面的间隙为 0~50 μm。“瓦片式”T/R 下模块的 SMP 接头焊接示意图如图 6 所示,焊接实物图如图 7 所示。

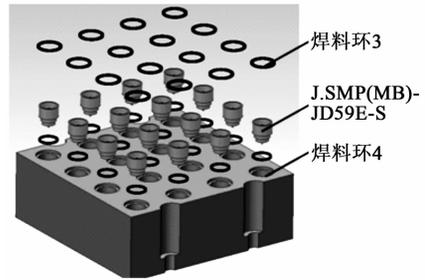


图 6 “瓦片式”T/R 下模块 SMP 接头焊接示意图

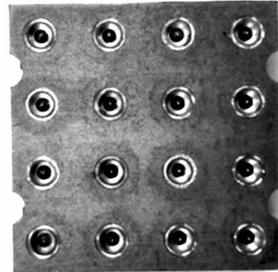


图 7 “瓦片式”T/R 下模块 SMP 接头的焊接实物图

2.5 异形激光缝焊工艺

普通的激光缝焊是在激光对焦后设定好焊接轨迹,将盖板水平焊接在壳体表面。本设计的“瓦片式”T/R 需要将上、下模块通过对侧面含 2 个内凹圆弧的轨迹进行激光缝焊成一个整体。由于焊接轨迹中含有内凹圆弧,因此要求焊接设备带有自动对焦功能,在圆弧处激光器能够自动改变焦距以确保焊接质量。同时,激光缝焊会产生一些金属粉尘,其他产品在缝焊前用螺钉密封一层内盖板以保证缝焊时的粉尘不会进入腔体。“瓦片式”T/R 在焊接区没有内层盖板隔离粉尘,因此要求焊接设备含有真空烘箱和手套箱,真空烘烤箱内的温度控制范围为室温~200 ℃,温度均匀性<±5 ℃。气氛保护手套箱配备有自动双柱气体纯化系统,用于气氛保护手套箱内高纯氮气的干燥与净化,手套箱气体体积泄漏率≤0.05%/h,经处理后气氛保护手套箱内水汽含量≤50×10<sup>-6</sup>,氧含量≤50×10<sup>-6</sup>。对激光器平均功率、脉冲宽度范围、最大脉冲重复频率、能量不稳定性及脉冲稳定性等参数进行优化,焊接实物如图 8 所示。“瓦片式”T/R 组件气密性满足 GJB 548B—2005 要求,漏率<5×10<sup>-3</sup> Pa·cm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>。



图 8 异型激光缝焊试验图片